

Gallium hatása a paradicsom növekedésére és szénhidráttartalmára

SIMON LÁSZLÓ¹, KISS FERENC¹, KÁDÁRNÉ PAPP KLÁRA²,
VASS ANDRÁS³, BALOGH ÁRPÁD¹ és PAIS ISTVÁN²

¹Bessenyei György Tanárképző Főiskola Nyíregyháza; ²Kertészeti és Élelmiszer-
ipari Egyetem Budapest és ³Növény és Talajvédelmi Szolgálat Laboratóriuma
Nyíregyháza

A gallium biológiai szerepéről keveset tudunk. Szerepe az állati és növényi anyagcsere-folyamatokban nem ismert; ismeretlen biológiai hatású mikroelemnek tekintjük. A gallium nem tekinthető biológiai szempontból teljesen indifferensnek, mivel biológiai rendszerekben valószínűleg helyettesítheti a vasat. Ionsugaruk ugyanis nagyon hasonló, $/\text{Fe(III)} = 0,064 \text{ nm}$, $\text{Ga(III)} = 0,062 \text{ nm/}$ és a ligandumok megkötésében mindkét ion oktaéderes geometriát követ /OLSEN és MILLER, 1986/. A gallium optimálisan alacsony koncentráció-tartományban előnyösen befolyásolja egyes mikroorganizmusok életfolyamatait. Szinkronizált *Anacytis nidulans* kék-zöldalga kultúrák fotoszintetikus oxigén fejlesztése és fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzimének aktivitása $0,5 \mu\text{M}$ Ga-kezelés hatására szignifikánsan megnőtt /KISS et al., 1985/. A $0,1\text{--}10 \mu\text{M}$ koncentrációtartományban adott gallium megnövelte az *Anacytis nidulans* szárazanyag-tartalmát, amely a szénhidrát anyagcserében fontos fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzim aktivitásának jelentős emelkedésével függhet össze. $10 \mu\text{M}$ -nál magasabb Ga-koncentráció esetében a glükóz-6-foszfát dehidrogenáz és peroxidáz enzimek aktivitása nőtt meg, mely a lebontó folyamatoknak kedvezett /KISS et al., 1987/. *Scenedesmus obliquus* és *Chlorella vulgaris* zöldalgák szárazanyag- és klorofilltartalma $1 \mu\text{M}$ Ga-kezelés hatására megemelkedett /BALOGH et al., 1986/. Vashiányos kultúrában nevelt, $1 \mu\text{M}$ galliummal, illetve $1 \mu\text{M}$ galliummal és $10 \mu\text{M}$ vassal kezelt *Chlorella pyrenoidosa* zöldalga növekedési üteme meggyorsult a kontrollhoz képest. A galliumkezelések hatására a fotoszintetikus színanyagok mennyisége megnőtt, új klorofillszámazók megjelenését regisztráltuk. Ugyanezen kezelések hatására a vashiányos $1 \mu\text{M}$ galliummal és $10 \mu\text{M}$ vassal kezelt kultúrákban jelentősen megnőtt a peroxidáz enzim aktivitása, és megváltoztak az enzim kinetikai paraméterei /SIMON et al., 1989/.

Magasabbrendű növények gallium-felvételére és szállítására képesek, a gyökereken át felvett gallium megjelenik a levelekben /OLSEN és MILLER, 1986/. BLAYLOCK és munkatársai /1989/ megfigyelései szerint a gallium(III)-ion nem lép kompetíciós kölcsönhatásba a vas(III)ionokkal az árpa vasszorbálása során. Vashiány esetén azonban a gallium csökkenti az árpa klorotikus tüneteit és a gyökerek fitosziderofór termelését. Feltételezik, hogy a gallium - az inaktív vas egy részét kötőhelyéről kiszorítva - több vas funkcióképességét teszi lehetővé élettani folyamatokban.

Nincsenek ismereteink arról, hogy milyen hatással van a gallium a mezőgazdasági növények növekedésére és termésének kémiai összetételére. Ezért célunk az volt, hogy megvizsgáljuk a galliummal kezelt paradicsom termésátlagát, leveleinek tápelem-összetételét és fruktóz-1,6-biszfoszfataz enzimének aktivitását, valamint a bogyók szénhidráttartalmát.

Anyag és módszer

Termesztéstechnikai paraméterek

A szabadföldi kísérletet a Nyíregyházi Tanárképző Főiskola Agrobotanikus Kertjének kísérleti parcelláin K-555 fajtájú paradicsommal végeztük. A fajta jellemzői az alábbiak: Gépi betakarításra alkalmas korai érésű fajta. Determinált növekedésű, bogyói egyszínből érnek, megnyúlt, szögletes alakúak, 2-3 rekeszűek. A bogyók átlagos tömege 70-80 g. Öntözött körülmények között termésátlagos magas. Friss fogyasztásra és élelmiszeripari feldolgozásra egyaránt alkalmas. Fajtajelölt /Zöldségtermesztési ..., 1988/.

A paradicsommagokat III. 25-én melegágyba vetettük el. A jól fejlett, egészséges palántákat 52 napos korban erdőirtás utáni, meszezéssel és szerves trágyázással javított homoktalajba ültettük ki. A kísérleti parcellák talajának legfontosabb jellemzői: Humusz: 1,75 %; K_A : 29; $pH(H_2O)$: 6,8; Összes só: 0,05 %; $KCl-NH_4-N$: 1,3; $KCl-NO_3-N$: 16; $Al-P_2O_5$: 1320; $Al-K_2O$: 200; $KCl-Ca$: 370; $KCl-Mg$: 68; $EDTA-Fe$: 190; $EDTA-Mn$: 72; $EDTA-Zn$: 10; $EDTA-Cu$: 2,0; HNO_3+H_2O-Ga : 3,3, mg/kg. /A talajvizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségért ZSOLDOS LÁSZLÓnak ezúton mondok köszönetet./ A talajmintákat 0-30 cm-es mélységből, a parcellák átlós bejárásával vettük /KÁDÁR, 1987/. A kísérlet időtartama alatt a kártevők ellen júliusban 0,3 % Mikal 75 WP, 0,2 % Zolone 35 EC és 0,2 % Dithane 45 WP növényvédő szerek egyszeri kijuttatásával védekezünk. A kísérlet alatt a parcellákat 5 alkalommal öntöztük.

A paradicsom kezelése gallium-nitráttal

A véletlen blokk elrendezésű, 3 ismétléssel beállított kisparcellás kísérletben egy-egy növény tenyészterülete 0,33 m², a parcellák területe 10 m² volt. A paradicsom lombpermetezését 3 alkalommal (a virágzás kezdetén /jún. 14/, virágzáskor /jún. 28/, a bogyófejlődés kezdeti stádiumában /júl. 12/) 1 µM galliumot tartalmazó gallium-nitrát-oldattal végeztük. Ez összesen 0,21 g gallium kijuttatásának felelt meg hektáronként, 30 000 elméleti tőszámot véve alapul. A kontrollparcellák egyidejűleg vizes permetezésben részesültek.

Növényi mintavétel a levelek tápelem-összetételének és enzimaktivitásának meghatározásához

A levelek tápelem-összetételének és enzimaktivitásának meghatározásához 72 órával a kezelést követően 50-50 db levélből álló mintát szedtünk a szár közepén elhelyezkedő, középállású levelekből /KÁDÁR, 1987/. A levélnvél nélküli paradicsomlevelek tápelem-összetételét lána-fotometriás és atomabszorpciós módszerrel határoztuk meg.

Fruktóz-1,6-biszfoszfataz enzim aktivitásának meghatározása paradicsomlevélből

5-5 g levélmintát 15 cm³ 0,05 M-os TRIS-HCl pufferral /pH 7,5/ kvarchomokkal dörzscsészében eldörzsöltünk. A szuszpenziót 15 000 ford. perç se-

1. táblázat
Kontroll ill. 1 μ M galliummal kezelt paradicsomlevél tápelemtartalma
a második /júl. 1/ ill. harmadik /júl. 15/ Ga-kezelést követően
/Nyíregyháza, 1988/

Tápelem	Második Ga-kezelés				Harmadik Ga-kezelés			
	Kontroll		Ga-kezelés		Kontroll		Ga-kezelés	
	szórás		szórás		szórás		szórás	
N %	3,72	/0,22/	3,84	/0,13/	3,71	/0,27/	3,56	/0,34/
P %	0,63	/0,04/	0,69	/0,04/	0,66	/0,10/	0,58	/0,03/
K %	3,47	/0,07/	3,57	/0,19/	4,17	/0,14/	4,27	/0,03/
Na %	0,02	/-/	0,03	/-/	0,01	/-/	0,01	/-/
Ca %	2,32	/0,06/	1,92	/0,23/	3,39	/0,12/	3,24	/0,05/
Mg %	0,90	/0,13/	0,73	/0,12/	1,86	/0,04/*	0,62	/0,09/
Fe, mg/kg	226	/15/	299	/14/*	354	/3/	378	/17/*
Mn, mg/kg	18,6	/0,3/	19,0	/0,7/	42,8	/1,7/*	32,2	/5,3/
Zn, mg/kg	22,0	/1,0/	26,5*	/0,4/	47,6	/1,8/	32,2	/5,3/
Cu, mg/kg	1,3	/0,09/	1,5	/0,05/*	2,6	/0,1/	2,6	/0,07/

Valamennyi adat 3-3 mérés eredményének átlaga

* P = 5 %-os szinten van szignifikáns különbség a Student t-próba szerint a kezelések között.

2. táblázat
Galliumkezelés hatása a paradicsom termésátlagára

Kezelés	Termésátlag kg/parcella	Számított termésátlag		Bogyó átlagtömeg	
		tonna/ha	Eltérés %	g/db	Eltérés %
Kontroll	38,10	38,10	-	45,20	-
Ga-kezelt	39,55 /n.sz./	39,55	+ 3,8	43,93 /n.sz./	- 2,8

/n.sz./ = statisztikailag nem szignifikáns a különbség

3. táblázat
Ga-kezelés hatása a K-555 paradicsom termésének összes- és vízben
oldható szárazanyag-, glükóz- és fruktóztartalmára

Kezelés	Összes száraz- anyag		Refrakció		Glükóz		Fruktóz	
	%	Eltérés %	%	Eltérés %	%	Eltérés %	%	Eltérés %
Kontroll	5,30	-	4,2	-	1,36	-	1,58	-
Ga-kezelt	5,67*	+ 7	4,5**	+ 7,1	1,81*	+ 33	2,07*	+ 31
	SzD _{5%} =0,18		SzD _{1%} =0,12		SzD _{5%} =0,17		SzD _{5%} =0,19	
	n = 5		n = 5		n = 3		n = 3	

n = ismételt mérések száma; * P = 5 %-os; ** P = 1 %-os szinten van szignifikáns különbség a kezelések között

bességgel 30 percig centrifugáltuk. Az így nyert felülúszó nyers enzimkivonatot használtuk az enzimaktivitás meghatározáshoz. A fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzim aktivitását 2 módszer alkalmazásával határoztuk meg:

1. A hidrolizált C-1 eredetű foszfát keletkezésének mérésével /APP, 1986; CHEN et al., 1976/.

2. Spektrofotometriás módszerrel, kapcsolt enzimreakciók segítségével /CSÉKE et al., 1982/.

A minták feltárását és az enzimaktivitás mérését 4 °C-on végeztük.

A paradicsom termésátlagának, összes és vízoldható szárazanyag-tartalmának meghatározása

A paradicsom termését augusztus 10. és szeptember 30. között folyamatosan szedtük. Az érett bogyók számát és tömegét parcellánként mértük, és az eredményeket variancia-analízissel értékeltük. A szár közepén, középtájon elhelyezkedő érett bogyók összes szárazanyag-tartalmát szárítással /105 °C, 3 óra/, a vízben oldható szárazanyag-tartalmat refraktometriás módszerrel határoztuk meg 5-5 ismétléssel.

A paradicsom szénhidráttartalmának meghatározása intenzív folyadékkromatográfiával

A termés szacharóz-, glükóz- és fruktóztartalmát intenzív folyadékkromatográfiás módszerrel /HPLC/ határoztuk meg. /A HPLC-vizsgálatokban nyújtott segítséget köszönöm HAJDÚ FÉLIX-nek, az MTA Központi Kémiai Kutató Intézet munkatársának./

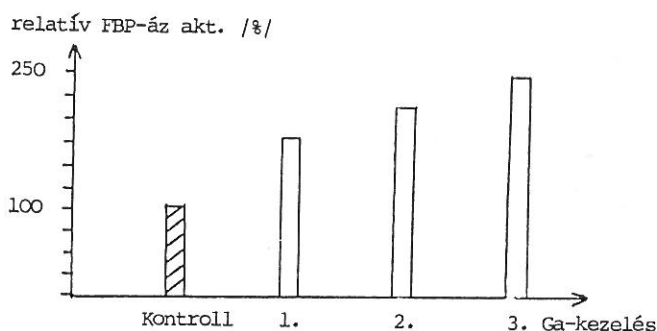
10-10 db középállású, azonos fejlettségű érett bogyót apró darabokra vágunk, a mintákat jól összekevertük. 25-25 g-os mintákat vettünk, melyeket 25-25 cm³ kétszer desztillált vízzel, kvarchomokkal eldörzsöltünk. A szűrletből 20 µl-es mintákat injektáltunk az ISCO HPLC rendszerbe. A HPLC elválasztás paraméterei a következők voltak: Oszlop: LiChrosorb NH₂ 5 µm, 250 x 4 mm /MERCK/; Eluens: acetonitril-víz, 80:20 /v/v/; Áramlási sebesség: 1 cm³/perc; Hőmérséklet: 25 °C; Detektálás: differenciál refraktometriás detektor.

Az egyes szénhidrátkomponensek minőségét és mennyiségét autentikus standardok alapján határoztuk meg. A paradicsom glükóz- és fruktóztartalmát 100 g nyers tömrege vonatkoztattuk.

A kísérleti eredmények

Az első gallium-nitrátos kezelés után 12 órával jelentős mennyiségű csapadék esett, így a levelek tápanyag-összetételét nem értékeltük. A második galliumkezelés után szedett kezelt és kontroll levelek makro- és mikroelem-összetételét az 1. táblázat tartalmazza. A mintavétel és a mérési hibák szórását figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a makrotápanyagok mennyisége a kezelt levelekben kismértékben megnőtt a kontrollhoz viszonyítva. Hasonlóan kismértékű eltérést okozott a kezelés a mikrotápelemekben, kivéve a vas /+ 37 %/, a cink /+ 25 %/, és a réz /+ 20 %/ megnövekedett mennyiségét. A harmadik galliumos kezelést követő levélanalízis eredményeit ugyancsak az 1. táblázatban láthatjuk. Megállapíthatjuk, hogy a második kezeléshez viszonyítva a tápelemek összmennyisége a levelekben megnőtt. A galliumos kezelés hatására a makro- és mikrotápanyagok mennyisége lecsökkent a kontrollhoz képest. Ez alól egyedüli kivételt a vas mennyisége jelentett, mely 7 %-kal volt több a galliummal kezelt paradicsomlevelekben.

Az 1. ábrán a galliumkezelés hatására megváltozott fruktóz-1,6-bisz-foszfátáz enzim aktivitásának kontrollhoz viszonyított relatív növekedését tüntettük fel. Az első kezelést követően, az 1 μ M-os Ga-kezelés hatására 80 %-kal nőtt az enzimaktivitás a kontrollhoz képest. A második permetezést követően az enzimaktivitás mind a kontrollhoz ± 119 %, mind az első kezeléshez képest megnőtt. A harmadik kezelés hatására 150 %-kal magasabb fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzimaktivitást mértünk a kezelt levelekben a kontrollhoz képest, és a relatív aktivitás az első és második kezeléshez viszonyítva is megnőtt.



1. ábra

Galliumkezelés hatása a paradicsomlevél fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzimének aktivitására

A 2. táblázatban a kisparcellás, szabadföldi paradicsom-kísérlet termés-átlagai szerepelnek. Megállapíthatjuk, hogy az alacsony koncentrációjú Ga-kezelés hatására csekély mértékben $\pm 3,8$ % nőtt meg a termésátlag, ez a növekedés nem bizonyult statisztikailag szignifikánsnak. Nem tapasztaltunk jelentős különbséget a bogyó átlagtömegekben sem.

Jelentős javulást tapasztaltunk viszont a beltartalmi mutatókban. A Ga-kezelt paradicsom bogyóinak szárazanyag-tartalma 7 %-kal, a vízben oldható szárazanyag-tartalom /refrakció %/ 7,1 %-kal volt magasabb a kontroll-terméshez képest /3. táblázat/. Az érett paradicsom szénhidráttartalmát intenzív folyadékkromatográfiával megvizsgálva megállapítottuk, hogy az érett piros bogyó jelentős mennyiségű glükózt és fruktózt tartalmaz /a minták szacharózt nem tartalmaztak/. A Ga-kezelést kapott paradicsom termésének fruktóztartalma 31 %-kal, glükóztartalma 33 %-kal volt magasabb a kontrollhoz képest /3. táblázat/.

Az eredmények értékelése

Kísérleti eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a paradicsomlevelek galliumos kezelése megváltoztatta a levél tápelemeinek mennyiségét, felvételének és leadásának dinamikáját. A második Ga-kezelés után a paradicsomlevél makro- és mikroelem-tartalmában tapasztalt növekedés a 3. kezelés hatására lelassult és alacsonyabb tápelemszintben nyilvánult meg. Ezzel összhangban vannak az önálló független kísérleti eredmények, melyek szerint 14 μ M galliummal permetezett szabadföldi paradicsom termésének tápelem-tartalma a kontrollhoz képest lecsökkent. Kivételt jelentett a vas mennyisége, amely 23 %-kal volt magasabb a kezelt bogyókban /Jelentés ..., 1988/. Mindezek alapján feltételezhetjük, hogy a gallium a magasabbrendű növényekben is hatással van a vas tápelemforgalmára. Feltételezésünk alátámasztásához fényszobás kísérletekre van szükség.

A paradicsombogyó szárazanyag-tartalma a bogyó fejlettségi stádiumának és száron való elhelyezkedésének függvénye. A szárazanyag-tartalmat a bogyónövekedés időbeli hossza, a bogyó növekedési üteme és vízforgalma szabja meg /WOLF és RUDICH, 1988; HO, 1979/. A paradicsombogyó növekedési sebessége a levélből történő szénimport mértékétől függ. Az import sebességét az asszimiláták mennyisége és elérhetősége, valamint a raktározó szervek forradóképesége szabja meg /HO, 1979, 1983/. A levelekben a fotoszintetikus folyamatokban szacharóz, illetve keményítő szintetizálódik. A Calvin-ciklus és a glikoneogenezis kulcsenzime a kloroplasztiszban és a citoplazmában található fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzim, mely aktivitásától nagymértékben függ a levelek asszimiláta szintje /BUCHANAN, 1980; ZIMMERMANN et al., 1978/. Feltételezhetjük ezért, hogy a Ga-kezelés hatására 150 %-kal megnőtt enzimaktivitás magasabb asszimiláta szintet eredményezett a paradicsom-levelekben. A megnövekedett asszimiláta szint a természetbe vándorolva megnövelte a bogyók szárazanyag-tartalmát, a glükóz és a fruktóz mennyiségét. Mivel a fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzim aktivitására és stabilitására elsősorban a Mg^{2+} , Mn^{2+} , és Zn^{2+} -ionok vannak hatással /BUCHANAN, 1980; ZIMMERMANN et al., 1978/, az aktivitás-növekedés közvetlenül a vas-gallium kölcsönhatással nem magyarázható. A fenti jelenségek magyarázatához további kísérleti munkára van szükség.

Összefoglalás

A levelek tápelemtartalmát és fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzimének aktivitását, a termésátlagot és a bogyók szénhidráttartalmát vizsgáltuk gallium-nitráttal kezelt $3 \times 0,07$ g Ga/ha/ paradicsomban. A paradicsomlevél mikro- és mikroelemtartalma, a vasat kivéve, a három galliumos kezelést követően lecsökkent. A Ga-kezelés kismértékben növelte meg a paradicsom termésátlagát, ez a növekmény nem bizonyult statisztikailag szignifikánsnak. A bogyók összes szárazanyag-tartalma, refrakció %-a, glükóz- és fruktóztartalma szignifikánsan megnőtt a galliummal kezelt paradicsom termésében. A növekedés a szénhidrát anyagcserében kulcsszerepet játszó fruktóz-1,6-biszfoszfátáz enzim kezelésekre hatására kialakult magasabb aktivitásának tulajdonítható.

Irodalom

- APP, A. A., 1986. Fructose-1,6-bisphosphatases. III. *Euglena gracilis*. In.: *Methods in Enzymology*. 11. 636-639.
- BALOGH, Á., KISS, F. and SZABOLCSI, L., 1986. Influence of gallium on growth of green and blue-green algae. *Proc. Internat. Symp. Trace Element Res.*, /Ed.: PAIS, I./ 127-132. Budapest, Hungary.
- BLAYLOCK, M. J., JOLLEY, V. D. and BROWN, J. C., 1989. Gallium/III/ does not actively substitute for iron/III/ in iron/gallium competition studies. *J. Plant Nutr.* 12. 465-484.
- BUCHANAN, B. B., 1980. Role of light in the regulation of chloroplast enzymes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31. 341-374.
- CHEN, P. S., TORIBARE, T. Y., WARNER, H., 1976. Microdetermination of phosphorus. *Anal. Chem.* 28. 1756-1759.
- CSÉKE, Cs., WEDEN, N. F. and BUCHANAN, B. B., 1982. A special fructose-bisphosphate functions as a cytoplasmic regulatory metabolite in green leaves. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 79. 4322-4326.
- HO, L. C., 1979. Regulation of assimilate translocation between leaves and fruits in the tomato. *Annals of Botany*. 43. 437-448.
- HO, L. C., 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39. 355-378.

- Jelentés az "Interdiszciplináris mikroelem-kutatás" nevű tárcaközi program 6.3.2. számú témája keretében elvégzett munkáról. 1988. Kertészeti Egyetem, Kémiai Tanszék, Budapest.
- KÁDÁR I., 1987. A növényi mintavétel alapelvei és technikája. Növénytermelés. 36. 395-404.
- KISS, F. et al., 1985. The effect of titanium and gallium on photosynthetic rate of algae. J. Plant Nutr. 9. 825-831.
- KISS, F. et al., 1987. A gallium hatásának tanulmányozása a *Synechococcus* AN 6301 kék-zöld algán. Acta Academiae Pedagogicae Nyíregyháziensis, 11/F. 63-69.
- OLSEN, R. A. and MILLER, R. O., 1986. Absorption of ferric iron by plants. J. Plant Nutr. 9. 751-757.
- SIMON, L. et al., 1989. Effect of gallium on photosynthetic pigments and peroxidase activity of *Chlorella pyrenoidosa*. J. Plant Nutr. 12. 1123-1140.
- WOLF, S. and RUDICH, J., 1988. The growth rates of fruits in a different part of the tomato plant and the effect of water stress on dry weight accumulation. Scientia Horticulturae. 34. 1-11.
- ZIMMERMANN, G., KELLY, G. J. and LATZKO, E., 1978. Purification and properties of spinach leaf cytoplasmic fructose-1,6-bisphosphatase. J. Biol. Chem. 253. 5952-5956.
- Zöldségtermesztési Kutatóintézet fajtakínálata. 1. Paradicsom. 1988. 4-13. Kecskemét.

Érkezett: 1990. november 10.